

**DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÓLEOS ISOLANTES DE
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NAS SUBESTAÇÕES DE
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

Christian Milanez Preis

Orientador: Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil

2013/1



**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÓLEOS ISOLANTES DE
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NAS SUBESTAÇÕES
DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

Christian Milanez Preis

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.**

**Orientador
Professor Doutor Henry Xavier Corseuil**

**FLORIANÓPOLIS – SC
DEZEMBRO/2013**

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

**DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÓLEOS ISOLANTES DE
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NAS SUBESTAÇÕES
DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE
SANTA CATARINA**

Christian Milanez Preis

Trabalho submetido à Banca Examinadora como
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

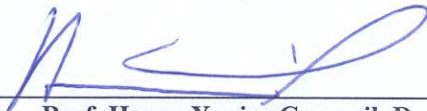
BANCA EXAMINADORA



Prof. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, Dr.
Membro da Banca – UFSC



Cristina Cardoso Nunes, Dra.
Membro da Banca – REMAS



Prof. Henry Xavier Corseuil, Dr.
Orientador - UFSC

FLORIANÓPOLIS – SC
DEZEMBRO/2013

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, tenho que agradecer aos meus pais. Sem eles não estaria onde estou hoje. Serei eternamente grato pela educação e apoio que eles me deram nesses anos todos. Aproveito o embalo para agradecer ao meu irmão, e quem sabe ganhar um agradecimento no TCC dele também.

Agradeço também à Debora, minha namorada e melhor amiga, por todo o apoio que sempre me deu, e por ter trazido tanta felicidade à minha vida.

Um agradecimento especial também aos meus amigos Fábio (revisor do T.C.C.), Cristyan, Danilo, Leonardo, Matheus, Bruno e Benny, companheiros de estudos madrugada adentro, que renderam muitos laplacegismos e teoremas de Lagrange.

Aos meus chefes durante o período de graduação: Wanderli, Carlos, Deise e Jean, que me ensinaram muito durante todo o período em que trabalhei para cada um deles.

Ao professor Henry, que me orientou para a realização do TCC, sempre mostrando-se disposto a ajudar.

Ao Ademir, prefeito de Braço do Norte e ex-diretor na CELESC, que me apresentou às pessoas certas na empresa que puderam me ajudar.

Ao engenheiro Orlando e ao químico Alexandre, funcionários da CELESC, que me forneceram informações essenciais para a realização deste TCC, e mostraram-se sempre atenciosos e dispostos a ajudar, na medida do possível.

RESUMO

Um dos principais constituintes dos transformadores de energia elétrica é o óleo isolante, sendo de fundamental importância para o bom funcionamento desses aparelhos. Ele pode ser produzido a partir de vegetais (óleo isolante vegetal) ou a partir de derivados do petróleo (óleo isolante mineral). Do ponto de vista ambiental, os óleos isolantes podem representar um grande problema para as empresas gestoras da rede elétrica. Eles possuem componentes que são nocivos ao meio ambiente e também para a saúde humana, e em casos de derramamento de óleo isolante, podem causar sérios danos ambientais. Dentro desse contexto, este trabalho realizou um diagnóstico da gestão de óleos isolantes de transformadores de potência nas subestações de transmissão de energia elétrica no estado de Santa Catarina. Foram realizadas entrevistas presenciais com funcionários da Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), que forneceram dados importantes para este trabalho. Além disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, a fim de encontrar informações sobre a gestão de óleos isolantes no estado. Segundo dados fornecidos por funcionários da CELESC, cerca de 97% do óleo isolante utilizado no estado (de um total de 4.200.000,00 litros) é do tipo mineral. A utilização do óleo isolante vegetal ainda não é uma unanimidade dentro das empresas do setor elétrico no mundo. Em relação às subestações de energia elétrica do estado, conforme funcionários da CELESC, as mais antigas ainda não encontram-se dentro das normas de segurança contra vazamento exigidas, tornando-se uma preocupação principalmente para as subestações localizadas próximas à áreas ambientalmente mais frágeis. Porém, é preocupação da empresa alterar esse cenário, reformando as subestações para readequá-las às normas. Por fim, este trabalho fez uma análise de quatro subestações da Ilha de Santa Catarina, em Florianópolis.

Palavras-chave: subestação de energia elétrica, transformador elétrico; óleo isolante mineral; óleo isolante vegetal; gestão de óleos isolantes.

ABSTRACT

One of the main constituents of an electric power transformer is the insulating oil, which is crucial for the proper functioning of the transformers. It can be produced from vegetables (vegetable insulating oil) or from petroleum (mineral insulating oil). From an environmental point of view, the insulating oils can represent a big problem for the companies that are responsible for the power distribution. These oils have components that are dangerous for the environment and for the human health. Insulating oil spilling events can cause great problems for the environment. Within this context, it was realized a diagnosis of the insulating oil management in the electrical substations inside the state of Santa Catarina, Brazil. Interviews were made with employees of the company responsible for the power distribution in the state, CELESC. A bibliography research was also made to find more information on the insulating oil management in Santa Catarina. According to data provided by CELESC employees, around 97% of the insulating oil used in the state (from a total of 4,200,000.00 liters) is mineral. The use of vegetable insulating oil is still not well disseminated between the electric companies in the world. Still according to CELESC employees, the electrical substations that are older in Santa Catarina still don't have all the security to avoid oil spilling, being a major concern, especially in the substations that are located near creeks, forests or the ocean. But they are trying to change this situation rebuilding these old substations. Also in this project, an analysis of four substations located in Florianópolis was made.

Key words: electrical substations, electric transformer, mineral insulating oil, vegetable insulating oil, insulating oil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da oferta de energia no Brasil em 2011 (Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2012)	5
Figura 2: Esquema representando o núcleo de um transformador. (Fonte: MYERS, KELLY & PARRISH, 1982).....	7
Figura 3 - Subestação de energia elétrica do Bairro da Agronômica. ...	22
Figura 4 - Subestação de energia elétrica do Bairro Córrego Grande. ...	22
Figura 5 - Subestação de energia elétrica Ilha-Norte, localizada no norte da ilha.	23
Figura 6 - Subestação de energia elétrica desativada na Tapera, onde ocorreu vazamento de óleo isolante.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações dos óleos minerais isolantes naftênico e parafínico. (Fonte: Resolução ANP nº36/2008).....	10
Tabela 2: Especificações dos óleos vegetais isolantes. (Fonte: NBR 15422/2006 da ABNT).....	11
Tabela 3: Dados quantitativos dos óleos isolantes utilizados no estado de Santa Catarina.	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.

OMI – Óleo mineral isolante.

OVI – Óleo vegetal isolante.

PCB – Bifenila policlorada.

TOR – Tanque de óleo regenerado.

TOV – Tanque de óleo velho.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	Energia Elétrica	5
3.2	Transformadores de Transmissão.....	6
3.3	Fluidos isolantes para transformadores de potência.....	8
3.3.1	Ascarel	8
3.3.2	Óleo mineral isolante	9
3.3.3	Óleo vegetal isolante.....	11
4.	METODOLOGIA	13
4.1	Coleta de dados quantitativos.....	13
4.2	Normas e legislações aplicáveis	13
4.2.1	Caracterização dos óleos isolantes	14
4.2.2	Gestão dos óleos isolantes	14
4.2.3	Prevenção de acidentes	15
4.3	Pesquisa bibliográfica	15
4.4	Análise de fotografias de satélite	16
5.	RESULTADOS.....	17
5.1	Quantidade de óleo.....	17
5.2	Critérios utilizados na escolha do óleo isolante	17
5.2.1	Óleo isolante naftênico x óleo isolante parafínico	17
5.2.2	Óleo mineral isolante x óleo vegetal isolante	18
5.3	Gestão do óleo isolante	18
5.4	Análise das normas	19
5.5	A problemática do PCB.....	20

5.6	Análise de subestações na ilha de Santa Catarina.....	21
5.6.1.	Vazamento na subestação da Tapera (sul da ilha)	23
6.	CONCLUSÃO	25
7.	BIBLIOGRAFIA.....	27

1. INTRODUÇÃO

Desde a sua descoberta, a energia elétrica vem ocupando cada vez mais um lugar de destaque na sociedade, sendo que hoje em dia a sua disponibilidade é considerada um direito humano básico, da mesma forma que alimento e moradia. Antes de chegar ao consumidor final, a energia elétrica passa por algumas etapas, dentre elas a redução de tensão, que ocorre nos transformadores de transmissão e de distribuição.

Um dos principais constituintes dos transformadores é o óleo isolante, sendo de fundamental importância para o bom funcionamento desses aparelhos. Ele pode ser produzido a partir de vegetais (óleo vegetal isolante) ou a partir de derivados do petróleo (óleo mineral isolante). Dentre os óleos minerais, existe o óleo isolante de bifenila policlorada (PCB), conhecido comercialmente por Ascarel. Sua fabricação e comercialização é atualmente proibida no mundo inteiro devido à sua toxicidade, persistência no ambiente e capacidade de bioacumulação (LEITE, 2008).

Do ponto de vista ambiental, os óleos isolantes podem representar um grande problema para as empresas gestoras da rede elétrica, como por exemplo a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), em Santa Catarina. Eles possuem componentes que são nocivos ao meio ambiente e também para a saúde humana, e em casos de derramamento de óleo isolante, o custo para a remediação é elevado. Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico da gestão de óleos isolantes de transformadores de potência nas subestações de transmissão de energia elétrica no estado de Santa Catarina. Ao mesmo tempo, o estudo estimou a quantidade existente de cada tipo de óleo isolante utilizado no estado, a partir de dados obtidos com a CELESC. Foi realizada também uma avaliação dos procedimentos exigidos pelas normas específicas, com o objetivo de identificar se estão adequados para amenizar os possíveis impactos ambientais causados pelos óleos isolantes.

Os dados obtidos nessa pesquisa são importantes para a população em geral, que é diretamente afetada em casos de vazamentos e má gestão dos óleos isolantes. O estudo é de interesse também de órgãos públicos, principalmente da CELESC, que está diretamente ligada à essa problemática.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar um diagnóstico da gestão ambiental de óleos isolantes de transformadores de potência nas subestações de transmissão de energia elétrica pertencentes à CELESC no estado de Santa Catarina.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar a quantidade existente de cada tipo de óleo isolante utilizado no estado de Santa Catarina, a partir de dados fornecidos pela CELESC;
- Identificar quais tipos de óleos isolantes causam os menores impactos ambientais em relação à sua gestão como um resíduo;
- Avaliar se os procedimentos adotados pela CELESC para gestão dos óleos isolantes estão de acordo com as exigências das normas;
- Identificar possíveis problemas ambientais que podem ser ocasionados em caso de derramamento de óleo isolante em subestações da ilha de Santa Catarina.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia Elétrica

Desde a sua descoberta, a energia elétrica vem ocupando cada vez mais um lugar de destaque na sociedade, sendo que hoje em dia a sua disponibilidade é considerada um direito humano básico, da mesma forma que alimento e moradia. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2012), dentre as diferentes formas de consumo de energia por fonte, a eletricidade foi a segunda mais consumida, representando 18 % do consumo final de energia por fonte, conforme pode ser observado na Figura 1.

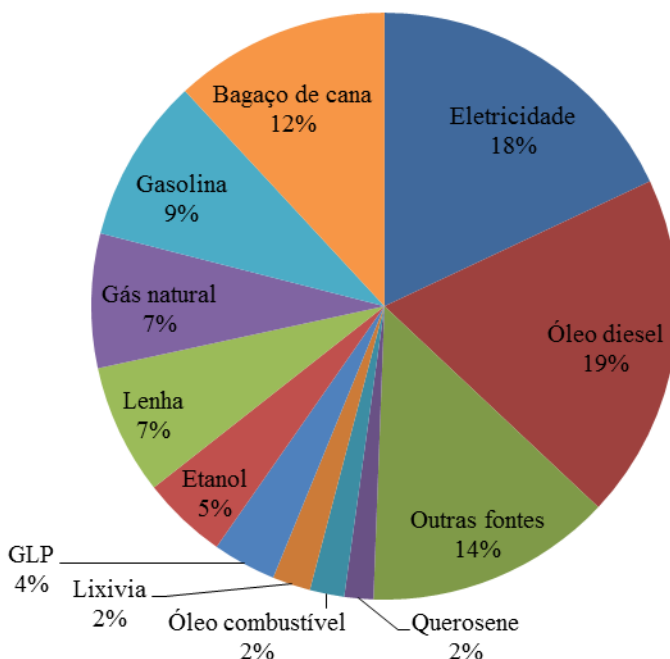


Figura 1: Estrutura da oferta de energia no Brasil em 2011 (Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2012)

Antes de chegar ao consumidor final, a energia elétrica passa por diferentes etapas de mudanças de tensão, que tem como objetivo reduzir as perdas na transmissão, que chegaram a 15,4% em 2011

(MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012). Essas variações na tensão são realizadas por equipamentos denominados transformadores de potência.

Ainda nas usinas geradoras, a energia elétrica tem sua tensão elevada por transformadores elevadores, de onde seguem para a rede de transmissão. Antes de chegar na rede elétrica, a tensão é reduzida nas subestações, pelos transformadores de transmissão; e uma última redução da tensão é feita nos transformadores de distribuição, que fornecem ao consumidor final uma energia elétrica com tensões de 110 e 220 V (NOGUEIRA & ALVES, 2009).

3.2 Transformadores de Transmissão

Segundo a NBR 5356-1 de 2007, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), transformadores de potência são equipamentos elétricos estáticos que transformam tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência, por meio de indução eletromagnética. Nogueira & Alves (2009) complementam essa definição, adicionando também a função de controle aos transformadores de potência, quando produzem variações de tensão (em torno de 10%), de fase ou ambos. Os transformadores de transmissão tem a função de, nas subestações, reduzir a tensão da eletricidade que chega das linhas de transmissão, para que ela possa ser repassada à rede de distribuição.

O tempo de vida útil de um transformador está relacionado com o seu sistema de isolamento, considerado a principal parte do equipamento. Ele é constituído, basicamente, por um líquido isolante (óleo isolante) e uma isolação sólida (papel isolante) (NOGUEIRA & ALVES, 2009). A principal função do papel isolante é recobrir e isolar os núcleos magnéticos (condutores de cobre) de um transformador, evitando curto-circuitos. Na Figura 2 é possível observar essa configuração.

O óleo isolante, por sua vez, envolve o núcleo do transformador, criando um sistema de isolamento termo-elétrico, essencial para a proteção dos componentes do equipamento (NOGUEIRA & ALVES, 2009). Uma vez que o óleo isolante pode ser substituído/regenerado, o papel isolante torna-se o principal indicador da vida útil de um transformador.

O sistema isolante é degradado principalmente pelos desgastes térmicos, químicos, elétricos e mecânicos do equipamento. No momento

que o isolamento é comprometido, o transformador perde suas propriedades funcionais. Portanto, torna-se essencial uma manutenção preventiva de qualidade, sabendo-se que a troca do papel isolante é economicamente inviável (STOCCO, 2009). Nesse sentido, o bom estado físico-químico do óleo isolante aumenta o tempo de vida útil de um transformador, pois fornece uma importante proteção para o papel isolante. A fim de manter esse bom estado, são previstas regenerações ou substituições do óleo isolante no transformador (NOGUEIRA & ALVES, 2009).

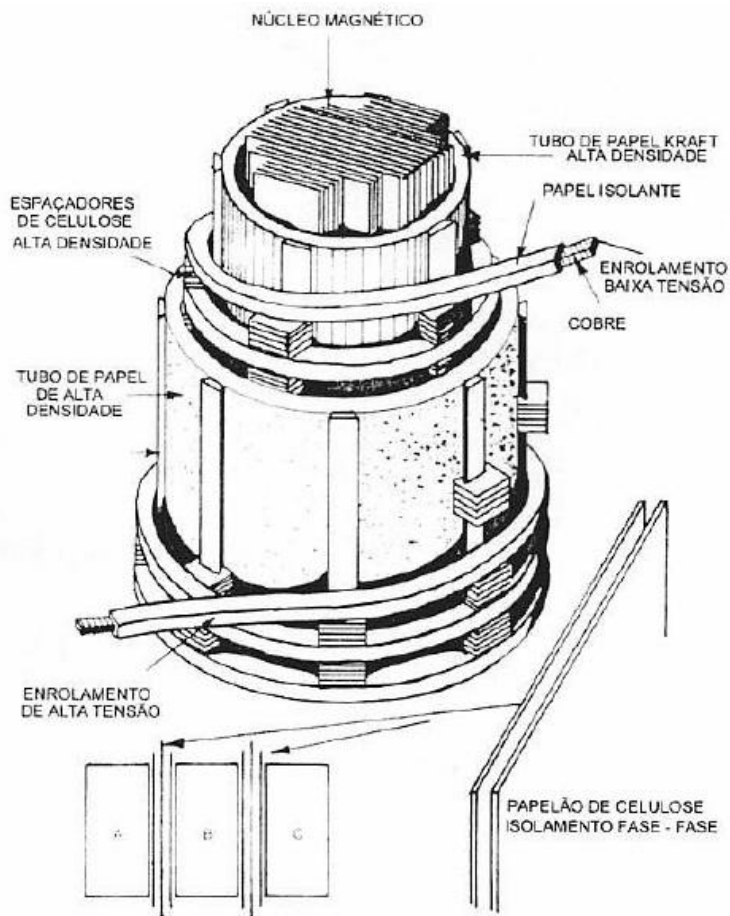


Figura 2: Esquema representando o núcleo de um transformador. (Fonte: MEYERS, KELLY & PARRISH, 1982)

3.3 Fluidos isolantes para transformadores de potência

A utilização de óleos isolantes nos transformadores de potência teve início em 1892, quando a General Electric produziu a primeira aplicação reconhecida de óleo mineral em um transformador. No Brasil, até o início da década de 80, o principal óleo isolante utilizado era o Ascarel, nome comercial dado aos óleos de PCB (bifenilas policloradas). Mas, devido à alta toxicidade desse óleo, seu uso é atualmente proibido em todo o território nacional (ANTONELLO, 2006).

O principal tipo de óleo isolante utilizado no mundo atualmente é o mineral, que é obtido a partir do petróleo. Porém, impulsionado principalmente por questões ambientais, foram desenvolvidos, por volta de 1999, óleos vegetais isolantes (OVI) voltados para a utilização em transformadores elétricos (WILHELM et al., 2009).

3.3.1 Ascarel

Até o início da década de 1980, o principal óleo isolante utilizado no Brasil era o Ascarel, nome comercial dado aos óleos de Bifenilas Policloradas (PCBs) no país. Os PCBs são compostos sintéticos produzidos a partir da reação de moléculas do grupo bifenila com cloro anidro, em presença de cloreto férrico. A extensão da cloração depende da concentração de cloro presente inicialmente e do tempo de reação (LEITE, 2008). Sua produção em escala industrial no mundo teve início em 1922 (HUTZINGER; SAFE; ZITKO, 1974 *apud* PENTEADO & VAZ, 2001). Estima-se que, a partir da década de 1950, mais de 50 milhões de toneladas de PCB foram produzidas em fábricas instaladas principalmente nos Estados Unidos (LEITE, 2008).

A grande disseminação de óleos de PCB ocorreu devido às suas boas propriedades físico-químicas e facilidade de produção. O Ascarel possui uma alta constante dielétrica e elevada estabilidade térmica, fatores essenciais para a utilização como óleo isolante em transformadores de potência (PENTEADO & VAZ, 2001). Porém, em 1966, com a descoberta da presença de PCBs em amostras ambientais, foram feitos estudos para avaliar a toxicidade destes compostos. A preocupação em relação aos efeitos de PCBs na saúde veio à público em 1968, quando um vazamento de PCB contaminou o óleo de arroz produzido em uma fábrica de Yusho, no Japão, intoxicando mais de 31000 pessoas (KIMBROUGH & JENSEN, 1989). Tais fatos desencadearam diversas medidas visando a proibição da fabricação e

utilização dos PCBs no mundo. Nos Estados Unidos, as primeiras leis que restringiam o uso desses compostos à sistemas fechados surgiram em 1978, sendo que em 1983 foi publicada uma lei federal proibindo o uso dos PCBs no território americano a partir de 1988 (EPA, 1983).

No Brasil, a primeira lei visando a restrição do uso de PCBs surgiu em 1981, por meio da Portaria Interministerial nº19, de 29 de janeiro daquele ano. Esta lei proibia o uso e a comercialização, em todo o território nacional, de qualquer produto contendo PCB. Porém, ela abriu exceções para equipamentos que já utilizavam o produto, e também para transformadores novos que haviam sido encomendados até seis meses antes da publicação da portaria. O prazo para adequar-se à lei era de 2 anos. Além disso, o Brasil é signatário de um tratado internacional assinado em 2001, em Estocolmo, na Suécia. A Convenção de Estocolmo tem como objetivo retirar os PCBs de uso até 2025 e, até 2028, baní-los completamente (MMA, 2012). Além do Brasil, fazem parte da Convenção outros 163 países. Em julho de 2005, o Brasil promulgou o texto do Protocolo de Estocolmo por meio do Decreto nº 5.472.

Para substituir o Ascarel presente nos transformadores de potência mais antigos, as empresas responsáveis por esses equipamentos tem optado por óleos minerais, que possuem características semelhantes aos PCBs. Porém, no processo de substituição dos óleos, há contaminação do óleo mineral novo, pois uma quantidade de óleo de PCB fica retida no papel isolante do transformador. Como consequência, parte dos transformadores de potência em uso no Brasil ainda estão contaminados com PCBs (ANTONELLO, 2006).

3.3.2 Óleo mineral isolante

O óleo mineral isolante (OMI) é um produto da destilação do petróleo natural, fazendo parte da fração entre 300 e 400 °C. Ele pode ser de origem parafínica (alcanos) ou naftênica (cicloalcanos) (CLARK, 1962 *apud* TULIO, 2008). Ele é composto, em grande parte, por moléculas constituídas basicamente por carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos); e possui também pequenas quantidades de compostos que apresentam nitrogênio, enxofre e oxigênio. Suas moléculas médias possuem de 19 a 23 átomos de carbono (WILSON, 1980 *apud* TULIO, 2008).

Dentro de um transformador em operação, o OMI sofre processos de deterioração, onde ocorrem mudanças consideráveis nas suas

propriedades físicas, químicas e elétricas, apresentando as seguintes consequências (STOCCO, 2009):

- Deterioração das propriedades isolantes do óleo;
- Aceleração do processo de degradação da celulose do papel isolante;
- Formação de borra (material mais denso que se deposita na parte ativa dos transformadores, dificultando a transferência de calor).

A principal causa dessa deterioração é a presença de oxigênio dentro do transformador. Para amenizar essas problemas, e aumentar a vida útil do OMI, torna-se necessário um programa de monitoramento e manutenção constantes no equipamento.

As características que o OMI deve atender são estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da Resolução nº36/2008 (ANP, 2008). Ela classifica o OMI em dois tipos: naftênico e parafínico. Esta diferenciação é feita por meio da massa específica a 20 °C e do ponto de fluidez, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Especificações dos óleos minerais isolantes naftênico e parafínico.
(Fonte: Resolução ANP nº36/2008)

Característica	Naftênico	Parafínico
Aspecto	Claro, límpido e isento de impurezas	
Massa específica a 20 °C (kg/m³)	861 – 900	860 (máximo)
Viscosidade cinemática a 20 °C (cSt)	25 (máximo)	
Ponto de fluidez (máximo)	-39 °C	-12 °C
Ponto de fulgor (mínimo)	140 °C	

Como pode ser observado, a principal diferença entre os dois tipos de OMI é o ponto de fluidez, que é mais alto no óleo parafínico, sendo que este não pode ser utilizado em países que sofrem com invernos mais rigorosos. Outra diferença importante é que uma maior quantidade de dióxido de carbono é produzida no envelhecimento dos óleos parafínicos, quando comparado aos naftênicos. Tal fato pode acelerar a deterioração do papel isolante (ARANTES, 2005).

3.3.3 Óleo vegetal isolante

O OVI começou a ser produzido para uso em equipamentos elétricos por volta de 1999, impulsionado principalmente pela crescente preocupação com o meio ambiente (WILHELM et al., 2009). A produção do OVI é feita a partir de grãos (principalmente de soja, no caso do Brasil), por processos de descortificação, descascamento, trituração, laminação, cozimento, prensagem mecânica ou extração por solvente. Após esse processo, obtém-se o óleo bruto, que passa pelos processos de degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização, obtendo-se o óleo refinado (MORETTO & FETT, 1998 *apud* STOCCO, 2009).

Em comparação com o OMI, o papel isolante tem sua vida estendida quando utilizado com OVI (CLAIBORNE & CHERRY, 2006 *apud* STOCCO, 2009). Além disso, o OVI apresenta um desempenho dielétrico semelhante ao OMI. Outra característica importante do OVI é seu alto ponto de combustão, superior a 300 °C, valor consideravelmente maior que o do OMI, que é em torno de 150 °C. Esse fator favorece a escolha do OVI quando busca-se um fluido de segurança que minimize o risco de incêndio e de explosão (WILHELM et al., 2009).

Por possuir compostos que são mais facilmente degradados, torna-se mais fácil recuperar áreas contaminadas com OVI do que com OMI. Porém, do ponto de vista técnico, essa característica não é vantajosa para o OVI, pois ele é mais suscetível à degradação por oxidação. A fim de evitar ao máximo os efeitos da oxidação nos OVIs, aditivos antioxidantes são adicionados ao óleo, os quais atuam interferindo nos processos de oxidação de lipídios (JORGE & GONÇALVES, 1998 *apud* STOCCO, 2009). As propriedades e características dos OVIs são indicadas, no Brasil, pela NBR 15422 da ABNT, que trata da “Especificação de óleo vegetal isolante novo”. Alguns dos limites presentes na norma são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações dos óleos vegetais isolantes. (Fonte: NBR 15422/2006 da ABNT)

Característica	Limite
Aspecto visual	Claro, límpido e isento de impurezas
Viscosidade cinemática a 20 °C (cSt)	150 (máximo)
Ponto de fluidez (máximo)	
Ponto de fulgor (mínimo)	

O uso do OVI em transformadores de potência ainda está em fase de testes, e é pouco difundido no Brasil e no mundo, pois as empresas do setor elétrico ainda tem receio de investir em um óleo que ainda apresenta incertezas quanto às suas características técnicas. Porém, aos poucos seu uso se dissemina pelo Brasil. Em agosto de 2006, a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) colocou em operação o primeiro transformador do mundo que funciona totalmente a OVI (CEMIG, 2013). Em Santa Catarina, a Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), instalou em Porto Belo (SC), em dezembro de 2006, o primeiro transformador móvel a utilizar OVI no Brasil, com potência instalada de 30 MVA e tensão de 138 kV (CELESC, 2013).

4. METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos específicos e geral propostos neste trabalho, uma coleta de dados e informações foi realizada em diferentes meios. Uma vez que os objetivos do trabalho são específicos para o estado de Santa Catarina, grande parte dos dados e informações foram obtidos na CELESC, que mostrou-se aberta a ajudar na realização deste trabalho.

4.1 Coleta de dados quantitativos

Este trabalho tem como um dos objetivos específicos a obtenção de alguns dados quantitativos, tais como:

- Quantidade de transformadores de transmissão no estado;
- Volume de cada tipo de óleo presente no estado.

Esses dados possibilitam uma melhor compreensão dos critérios utilizados pela CELESC na escolha dos óleos isolantes utilizados. Esses dados foram obtidos por meio de entrevistas presenciais abertas com o responsável pelo setor químico da CELESC, o químico Alexandre Rios Martins, e também com o engenheiro sanitário e ambiental Orlando Foes Neto. O químico Alexandre trabalha há mais de 30 anos na CELESC, sempre envolvendo-se diretamente com questões voltadas ao óleo isolante.

4.2 Normas e legislações aplicáveis

Há no Brasil diferentes normas e leis que abrangem a correta gestão ambiental dos óleos isolantes de transformadores. Estes documentos foram analisados durante a execução deste trabalho, com o objetivo de avaliar a gestão dos óleos isolantes feita pela CELESC. Em casos onde foram identificados problemas nos procedimentos adotados pela empresa, foram feitas sugestões para que haja uma correta gestão ambiental dos óleos isolantes. Nos próximos itens são listadas as normas e legislações utilizadas neste trabalho.

4.2.1 Caracterização dos óleos isolantes

As seguintes normas e resolução foram analisadas neste trabalho, com o objetivo de caracterizar os diferentes tipos de óleos isolantes utilizados nos transformadores de transmissão do estado:

- **Resolução ANP nº36/2008** – Regulamenta as características dos OMIs, fornecem os limites aceitáveis para diferentes parâmetros, diferenciando os OMIs em naftênicos e paraafínicos;
- **NBR 15422/2006 “Especificação de óleo vegetal isolante novo”** – Fornece os limites aceitáveis para diferentes parâmetros do OVI, caracterizando-o para o uso como dielétrico e refrigerante em equipamentos elétricos. Além disso, estabelece orientações para sua embalagem, rotulagem, armazenamento e manuseio;
- **NBR 8371/2005 “Ascarel para transformadores e capacitores – Características e riscos”** – Descreve o Ascarel utilizado para transformadores e capacitores, e estabelece orientações para seu manuseio, acondicionamento, rotulagem, armazenamento, transporte, procedimentos para equipamentos em operação e destinação final. Além disso, ela diferencia os equipamentos elétricos conforme a concentração de PCB presente no óleo isolante.

4.2.2 Gestão dos óleos isolantes

As seguintes normas e legislações estão relacionadas à gestão ambiental dos óleos isolantes, de forma direta e/ou indireta, e foram analisadas neste trabalho com o objetivo de avaliar se os procedimentos utilizados pela CELESC em relação à gestão dos óleos isolantes são adequados.

- **NBR 8371/2005** – Citada anteriormente, ela estabelece procedimentos a serem adotados para os diferentes tipos de óleos isolantes, conforme suas concentrações de PCB;
- **NBR 17505/2006 “Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis”** – Estabelece os requisitos exigíveis para os projetos de instalações de armazenamento, manuseio e uso de líquidos inflamáveis, que é o caso dos óleos isolantes;

- **Portaria Interministerial nº19/1981** – Limita o uso de óleos isolantes que contenham PCB;
- **Lei nº12.305/2010** – Regulamenta os procedimentos que devem ser adotados para a gestão dos diferentes tipos de resíduos, inclusive os perigosos, caso dos óleos isolantes.
- **Decreto nº5.472/2005** – Promulga o texto da Convenção de Estocolmo sobre poluentes orgânicos persistentes, estabelecendo como meta eliminar o uso de PCBs até 2025.

4.2.3 Prevenção de acidentes

As seguintes normas estão relacionadas à prevenção de acidentes envolvendo óleos isolantes, e foram analisadas neste trabalho, com o objetivo de avaliar se os procedimentos utilizados pela CELESC para evitar acidentes são adequados.

- **NBR 17505/2006** – Citada anteriormente, ela estabelece requisitos para minimizar os riscos de explosão e incêndio envolvendo os óleos isolantes;
- **NBR 13231/1994 “Proteção contra incêndio em subestações elétricas convencionais, atendidas e não atendidas, de sistemas de transmissão”** – O objetivo principal desta norma é estabelecer condições mínimas para a proteção de subestações elétricas contra incêndios. Porém, ela contém um capítulo destinado à “Bacias de contenção e drenagem de óleo isolante”, onde são estabelecidas condições de instalação de transformadores de potência, a fim de conter o óleo isolante durante possíveis vazamentos.

4.3 Pesquisa bibliográfica

De forma a auxiliar a execução deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca da gestão dos óleos isolantes. Foi encontrado um trabalho de Joinville, onde realizou-se um levantamento da quantidade de óleos isolantes com PCB na cidade. Este trabalho apresenta também como é realizada a gestão deste tipo de óleo isolante na cidade (HURTADO et al., 2012).

4.4 Análise de fotografias de satélite

Com o objetivo de identificar possíveis problemas ambientais que podem ser ocasionados em caso de derramamento de óleo isolante em subestações da ilha de Santa Catarina, foi realizada uma análise acerca da localização das mesmas, por meio de fotografias de satélite de algumas subestações.

5. RESULTADOS

5.1 Quantidade de óleo

Segundo dados obtidos junto à CELESC, a empresa possui 338 transformadores em subestações no estado de Santa Catarina. Na Tabela 3 são apresentados os dados quantitativos em relação aos diferentes tipos de óleo isolante utilizados nesses transformadores. Esses dados foram fornecidos pelo responsável do setor químico da CELESC.

Tabela 3: Dados quantitativos dos óleos isolantes utilizados no estado de Santa Catarina.

Óleo	Volume	%
Isolante mineral naftênico	3.774.540,0	89,97
Isolante mineral parafínico	317.100,0	7,55
Isolante vegetal	103.320,0	2,48
Total	4.200.000,0	100

Pode-se observar que o óleo mineral é amplamente mais utilizado do que o óleo vegetal (97,52% contra 2,48%). Ressalta-se que a maior parte do óleo vegetal isolante utilizado pela CELESC está em transformadores móveis, utilizados para substituir eventuais transformadores com problemas em subestações. Tal política foi adotada para evitar maiores problemas ambientais em caso de acidente no transporte destes transformadores, uma vez que este tipo de óleo é menos nocivo ao meio ambiente do que os óleos minerais.

5.2 Critérios utilizados na escolha do óleo isolante

5.2.1 Óleo isolante naftênico x óleo isolante parafínico

Ambos são óleos isolantes produzidos a partir do petróleo que possuem algumas diferenças entre si. A principal dela está no ponto de fluidez, que é menor para o naftênico. Isto significa que ele resiste melhor à baixas temperaturas, o que faz com que ele seja muito utilizado em países europeus (mais frios). Esta preferência refletiu até mesmo em países tropicais (como o Brasil), onde a temperatura não precisa necessariamente ser um critério na escolha do tipo do óleo. Atualmente, o principal critério utilizado pela CELESC na escolha entre óleo isolante parafínico e naftênico é a disponibilidade no mercado, que influencia diretamente no preço do produto.

5.2.2 Óleo mineral isolante x óleo vegetal isolante

O óleo mineral isolante é amplamente mais utilizado do que o vegetal, principalmente por ainda ser muito mais viável no ponto de vista econômico. O óleo vegetal isolante ainda possui muitas desvantagens em relação ao óleo mineral. Sua utilização é vista com desconfiança pelas empresas do setor elétrico pois, por ser um produto relativamente novo no mercado, suas propriedades depois de anos de uso ainda são desconhecidas.

Do ponto de vista técnico, a principal vantagem do óleo vegetal isolante é o seu alto ponto de fulgor, o que o torna mais seguro em relação ao óleo isolante mineral. Por outro lado, a lista de desvantagens é maior:

- Mais sensível ao oxigênio, podendo ser utilizado somente em transformadores selados;
- Viscosidade maior em relação ao óleo isolante mineral, dificultando sua circulação no interior dos transformadores;
- Aditivos utilizados nos óleos isolantes vegetais ainda são desconhecidos, devido a problemas relacionados à patentes;
- Apenas uma empresa no Brasil faz a regeneração do óleo isolante vegetal;
- A manutenção de transformadores que utilizam óleo isolante vegetal é mais complexa, e apenas uma empresa no Brasil faz esse serviço.

Percebe-se que ainda existem muitas dúvidas envolvendo a utilização de óleos isolantes vegetais, o que torna a sua escolha um pouco mais difícil. A principal vantagem para uma empresa na escolha pelo óleo isolante vegetal é o marketing ambiental gerado. Trata-se de um óleo que pode ser mais facilmente remediado em casos de derramamento, passando para o público em geral a imagem de uma empresa que se preocupa com o meio ambiente.

5.3 Gestão do óleo isolante

Em média, é realizada a troca do óleo isolante dos transformadores mais antigos, que possuem respiradores com o ambiente, a cada 10 anos. Transformadores mais novos são selados, o que aumenta o tempo de vida útil do óleo.

Ao ser retirado dos transformadores, o óleo isolante é armazenado em caminhões pipa, sendo transportado até a SPSL (Supervisão de Subestações e Linhas de Transmissão) em Joinville, onde o óleo é armazenado até o momento do tratamento, sendo armazenado em Tanques de Óleo Velho (TOV), onde é decantado até passar pelo processo de regeneração. A armazenagem do óleo isolante segue as premissas da NBR 17505-1 e NBR 17505-2, que trazem as diretrizes para armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis.

Do TOV, o óleo isolante é bombeado para dentro de 18 torres de filtragem preenchidas com bauxita, onde ocorre o processo de filtragem por gravidade, removendo as impurezas dos óleos isolantes, que posteriormente são armazenados em tonéis para análise. Caso ainda sejam encontradas impurezas no óleo isolante, o mesmo repassa pelo processo de filtragem, até que esteja livre de impurezas. A bauxita das torres de filtragem é substituída a cada 3 processos de filtragem, sendo que os resíduos são encaminhados para descarte (geralmente coprocessamento).

Após a constatação pelo laboratório da CELESC que o óleo isolante está livre de agentes contaminantes, o mesmo é aditivado e bombeado para o tanque de óleo regenerado (TOR). O óleo isolante regenerado é transportado por caminhões até as subestações, para que sejam reaproveitados nos transformadores.

5.4 Análise das normas

Visando conter possíveis vazamentos de óleo isolante tanto nas subestações quanto em locais de armazenagem, existem duas normas da ABNT que trazem especificações para a instalação de bacias de contenção. Para os locais de armazenamento de óleo isolante, deve-se seguir as premissas da Norma NBR 17505-2/2006. No seu item 5.2.3, esta norma traz diretrizes para o controle de derramamento de tanques de superfície por meio de diques de contenção. Já a Norma NBR 13231/1994 traz diretrizes para a instalação de bacias de contenção em subestações de energia elétrica, por meio do seu item 5.4.5.

Ambas as normas especificam a instalação de diques de contenção com o objetivo de evitar que, em eventuais vazamentos, o óleo isolante contamine o meio ambiente. Visto que são normas relativamente recentes, as subestações mais antigas não previam em seus projetos a instalação de diques de contenção. A CELESC ainda possui subestações que não atendem às normas, porém esse problema

está sendo corrigido aos poucos, conforme são feitas reformas nas subestações de energia elétrica mais antigas. Uma vez dentro das exigências das normas, o risco de acidentes ambientais causados por eventuais vazamentos de óleo isolante é muito baixo, sendo que o mesmo ficaria retido nos diques de contenção.

5.5 A problemática do PCB

A comercialização de PCB no Brasil está proibida desde 1981. Porém, transformadores adquiridos antes deste ano e que continham PCB continuaram operando normalmente, sem necessidade de troca imediata do óleo isolante. Essa troca foi feita apenas a partir do momento em que o óleo isolante já não apresentava características adequadas para o bom funcionamento dos transformadores. Porém, essa troca não garante a eliminação total de PCB dos transformadores.

A norma NBR 8371/2005 classifica os transformadores elétricos conforme os seguintes níveis de concentração de PCB:

- Equipamentos elétricos isentos de PCB: transformadores cujo óleo isolante contenha teores de PCB inferiores ao limite de quantificação do método do ensaio;
- Equipamentos elétricos não PCB: transformadores cujo óleo isolante contenha teores de PCB inferiores a 50 mg/kg;
- Equipamentos elétricos contaminados por PCB: transformadores cujo óleo isolante contenha teores de PCB entre 50 e 500 mg/kg;
- Equipamentos elétricos PCB: transformadores cujo óleo isolante contenha teores de PCB superiores a 500 mg/kg.

No momento da troca do óleo isolante, de 8 a 10% do líquido permanece retido no papel isolante. Supondo um transformador cujo óleo isolante contenha concentração de PCB igual a 500 mg/kg (nível considerado muito alto), após a substituição para um líquido isento de PCB, a concentração não ultrapassará 50 mg/kg. Esta concentração estaria de acordo com o que busca o protocolo de Estocolmo, assinado por 164 países (entre eles o Brasil) em 2001. Portanto, segundo informações do responsável pelo setor químico da CELESC, não há necessidade de troca do equipamento para torná-lo “não PCB”. Atualmente, a CELESC não possui transformadores com PCB puro.

Quando há a troca do óleo isolante, o mesmo é analisado, e caso possua um teor de PCB superior a 50 mg/kg, ele é segregado, sendo

incinerado ou descontaminado até o limite de quantificação do método do ensaio de detecção de PCB, conforme preconiza a NBR 8371. O mesmo destino aplica-se ao destino final de transformadores elétricos contaminados com PCB.

5.6 Análise de subestações na ilha de Santa Catarina

O vazamento de óleo isolante de subestações de energia elétrica pode causar grandes danos ao meio ambiente, podendo atingir o solo, a água subterrânea e até mesmo águas superficiais. Em casos onde o óleo isolante utilizado é o mineral, a recuperação ambiental é mais difícil, pois ele possui cadeias carbônicas mais longas e pesadas, o que dificulta a sua degradação. Por esse motivo a opção pelo óleo isolante vegetal em locais ambientalmente mais frágeis (próximo à rios, mar, etc.) é mais aconselhada.

Um bom exemplo para esse caso é a subestação de energia elétrica localizada no Bairro da Agrônômica, às margens da Avenida Beira-mar Norte, em Florianópolis/SC, inaugurada em 2010. Por ser mais nova, ela já possui todos os sistemas de segurança contra vazamento preconizado pelas normas. Como pode-se observar na Figura 3, que mostra a localização da subestação, ela situa-se muito próximo do mar, sendo que um possível vazamento poderia causar sérios danos à esse ambiente. Por este motivo, o óleo isolante utilizado nos transformadores é do tipo vegetal.

A situação é diferente na subestação do Bairro Córrego Grande, apresentada na Figura 4. Inaugurada em 1980, é provável que ela tenha sido construída sem as condições de segurança contra vazamento que são exigidas hoje pelas normas. Uma informação mais precisa a respeito não foi fornecida pela CELESC.

Em um cenário mais conservador e crítico, em um caso de vazamento de óleo isolante, o mesmo pode contaminar o córrego (destacado em azul na figura) que passa a 170 metros do local. Este córrego desagua no manguezal do bairro Itacorubi, um ambiente frágil que poderia sofrer graves consequências em caso de contaminação. Portanto, é essencial que se tenha um programa de prevenção de vazamentos nessa área, buscando evitar qualquer possibilidade de contaminação desse córrego.



Figura 3 - Subestação de energia elétrica do Bairro da Agronômica. (Fonte: Google Earth)

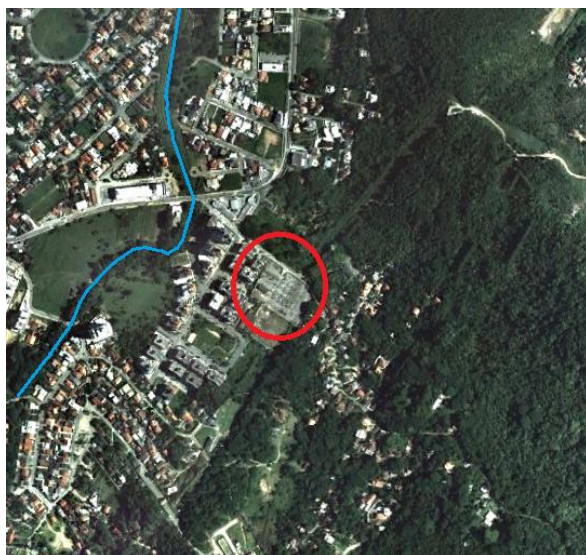


Figura 4 - Subestação de energia elétrica do Bairro Córrego Grande. (Fonte: Google Earth)

Situação parecida encontra-se na subestação Ilha-Norte, localizada às margens da SC-403, no norte da ilha. Ela também é uma subestação mais antiga, tendo sido construída antes da criação das normas que exigem proteções adequadas contra vazamento. Conforme pode-se observar na Figura 5, existe um córrego a cerca de 45 metros da subestação. Este córrego tem como destino o Rio Ratones, que por sua vez passa pelo manguezal de Ratones antes de desaguar no mar, próximo à Praia da Daniela. Semelhante ao caso anterior, é de grande importância que haja nesta subestação um controle de prevenção contra vazamentos de óleo isolante.



Figura 5 - Subestação de energia elétrica Ilha-Norte, localizada no norte da ilha. (Fonte: Google Earth)

5.6.1. Vazamento na subestação da Tapera (sul da ilha)

Em dezembro de 2012, foi detectado um vazamento de óleo isolante no sul da ilha de Santa Catarina, em uma subestação desativada da CELESC no bairro Tapera. Estima-se que um total de 12 mil litros de óleo isolante mineral (contendo traços de PCB) vazou dos transformadores. Como pode-se observar na Figura 6, a subestação localiza-se ao lado de um córrego, que tem como destino o manguezal

da Tapera. O óleo que vazou contaminou o solo, a água subterrânea e as águas superficiais do córrego e do mangue da região. Este vazamento, além de afetar a fauna e flora locais, prejudicou os maricultores da região, devido a um embargo feito pela Justiça Federal à uma área de 730 hectares na orla próxima ao mangue. Este embargo durou por 6 meses, até que fosse constatada a ausência de óleo na região.

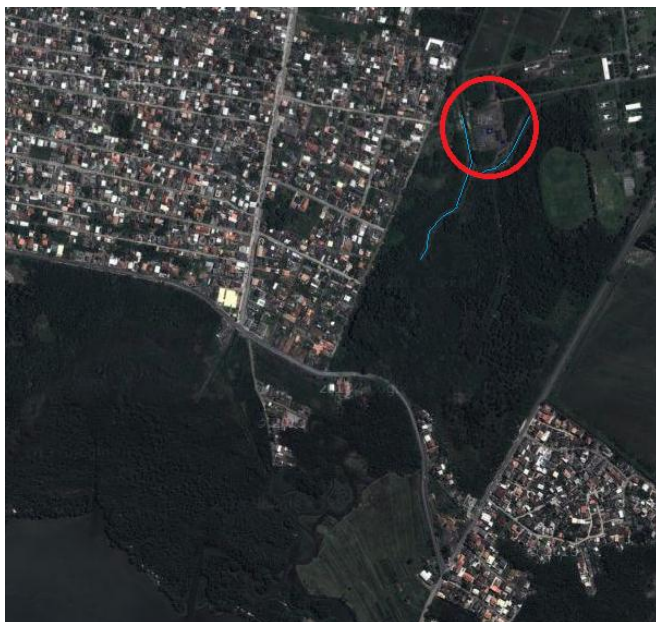


Figura 6 - Subestação de energia elétrica desativada na Tapera, onde ocorreu vazamento de óleo isolante. (Fonte: Google Earth)

Este vazamento chamou a atenção da sociedade, expondo a fragilidade do meio ambiente e a necessidade de ter todos os cuidados possíveis para evitar estes problemas. Por ser uma subestação antiga, não existiam obras que pudessem conter o vazamento, permitindo ao óleo que vazou de chegar no córrego, no mangue e até mesmo no mar, distante cerca de 1000 metros da subestação.

O vazamento ocorrido na Tapera expõe a fragilidade das outras subestações apresentadas neste trabalho, principalmente a que localiza-se no norte da ilha, que encontra-se próxima a um córrego. Todos os cuidados exigidos nas normas vigentes devem ser tomados a fim de se evitar que novos problemas ocorram.

6. CONCLUSÃO

A gestão de óleos isolantes ainda é um assunto delicado para o setor elétrico. A obtenção dos dados para este TCC mostrou-se difícil em algumas ocasiões, principalmente por ser um tema bastante complexo e que gera muitos inconvenientes em relação à questão ambiental.

Por meio das entrevistas realizadas com funcionários da CELESC, percebe-se que há um aumento significativo na atenção dispensada ao assunto, principalmente após o vazamento de óleo isolante que ocorreu no sul da ilha de Santa Catarina em 2012. A CELESC possui 338 transformadores de potência no estado, e algumas subestações de energia elétrica mais antigas ainda não se encontram dentro das normas de segurança contra vazamento exigidas, porém há uma preocupação da empresa em mudar esta situação, para evitar ao máximo que novos acidentes ocorram. Observando as características da subestação inaugurada em 2010 no bairro Agrônômica, percebe-se que esta preocupação existe, sendo que o óleo isolante utilizado nos transformadores é do tipo vegetal.

O uso do óleo isolante vegetal ainda não é uma unanimidade dentro do setor, principalmente pelo fato de ainda ser considerado uma novidade no mercado do setor elétrico. Seu custo benefício ainda é uma grande incógnita para as empresas, uma vez que ainda não são conhecidas as propriedades deste produto após anos de utilização em larga escala. Além disso, as técnicas de regeneração deste produto ainda não estão bem estabelecidas, necessitando de mais estudos, principalmente em larga escala. A preferência pelo uso do óleo isolante mineral pode ser observada por meio da quantidade deste óleo existente no estado, em relação ao óleo vegetal. Aproximadamente 97% do óleo isolante utilizado pela CELESC (de um total de 4.200.000 litros) é de origem mineral.

É importante que se mantenham os estudos nessa área, principalmente visando a redução dos problemas causados por possíveis vazamentos, tentando eliminá-los ao máximo. Isso é importante para locais como a Ilha de Santa Catarina, onde é muito difícil encontrar um local ideal para instalar uma subestação, longe de ambientes considerados frágeis. Observa-se que é comum encontrar ambientes aquáticos próximos às subestações da ilha. É uma situação preocupante, principalmente pelo fato de a contaminação atingir áreas maiores nesse

tipo de ambiente, como foi observado no vazamento ocorrido na subestação da Tapera, no sul da ilha.

A fim de evitar que novos problemas com vazamento ocorram, espera-se uma atuação forte dos órgãos ambientais e uma cooperação das empresas do setor elétrico, com o objetivo de readequar suas instalações, visando atender às normas de segurança contra vazamento de óleo isolante. Dessa maneira, evita-se que possíveis vazamentos poluam o meio ambiente, como ocorreu na subestação da Tapera. Caso esta subestação estivesse de acordo com as normas, os problemas ambientais teriam sido evitados. Por meio de uma gestão adequada do uso e armazenamento destes óleos é possível evitar grandes problemas ambientais no futuro.

7. BIBLIOGRAFIA

ANP. **Agência nacional do petróleo, gás natural e Biocombustíveis.** Resolução nº 36, de 8 de dezembro de 2008.

ANTONELLO, I. **Determinação de ascarel em óleo mineral isolante de transformador.** 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Ufsc, Florianópolis, 2006.

ARANTES, J. G. **Diagnóstico de falhas em transformadores de potência pela análise de gases dissolvidos em óleo isolante através de redes neurais.** 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5356-1:** Transformadores de potência – Parte 1: Generalidades. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8371:** Ascarel para transformadores e capacitores – Características e riscos. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13231:** Proteção contra incêndio em subestações elétricas convencionais, atendidas e não atendidas, de sistemas de transmissão. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15422:** Especificação de óleo vegetal isolante novo. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17505:** Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. 2006.

BRASIL. **Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº19, de 29 de janeiro de 1981.**

CELESC. **Centrais Elétricas de Santa Catarina**. Disponível em <<http://www.CELESC.com.br>>. Acessado em em 18 de junho de 2013.

CEMIG. **Centrais Elétricas de Minas Gerais**. Disponível em <<http://www.cemig.com.br>>. Acessado em 18 de junho de 2013.

CLAIBORNE, C. C., CHERRY, D. B. **A status update on the use of natural ester (vegetable oil) dielectric fluids in transformers**. Doble, 2006.

CLARK, F. M. **Insulating materials for design and engineering practice**. New York: John Wiley and Sons, 1962, 393 p.

EPA – Environmental Protection Agency (USA); **Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Manufacturing, Processing, Distribution in Commerce and Use Prohibitions. Use in Electrical Equipment. Statement of Policy**; Federal Register 40 CFR Part 761, v.48 n.35, 1983.

HURTADO, A. L. B., *et al.* **Levantamento dos Transformadores Elétricos Potencialmente Contaminados por Bifenilas Policloradas em Joinville/SC**. Revista Gestão Industrial, Curitiba, v. 08, n. 04, p.172-187, 2012.

HUTZINGER, O.; SAFE. S.; ZITKO, V.; **The Chemistry of PCBs**; CRC Press; New York; 1974; p 8.

JORGE, N.; GONÇALVES, L. A. G.; **Boletim 32 ABCTA**. Sociedade Brasileira e Ciência e Tecnologia de alimentos, 1998, p.40

KIMBROUGH, R. D.; JENSEN, A. A.. **Halogenated Biphenyls, terphenyls, naphthalenes, dibenzodioxins, and related products**. 2. ed. Holanda: Elsevier, 1989. 518 p.

LEITE, N. F. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e bifenilas policloradas (PCBs) em sedimentos: desenvolvimento analítico e diagnóstico ambiental**. 2008. 144 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MEYERS, S. D.; KELLY, J.J.; PARRISH, R.H. **A guide to transformer maintenance**. Ohio: Transformer Maintenance Institute, 1982.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 2012, ano base 2011**. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/> e acessado em 14 de junho de 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia para o inventário nacional de Bifenilas Policloradas (PCB)**. 2012. 83p.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais**. São Paulo: Varela Editora e Livraria Ltda, 1998. 150 p.

NOGUEIRA, D.S. e ALVES, D.P. **Transformadores de potência: Teoria e aplicação**. 2009. 212 f. Grau (Engenheiro Eletricista) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2009.

PENTEADO, J. C. P.; VAZ, J. M. **O legado das bifenilas policloradas (PCBs)**. Quim Nova, São Paulo, v. 24, n. 3, p.390-398, 2001.

STOCCO, M. B. C. **Avaliação do potencial de aplicação de óleos vegetais como fluidos isolantes em transformadores de distribuição da rede elétrica**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Ufpr, Curitiba, 2009.

TULIO, L. **Estudo do envelhecimento acelerado de óleo vegetal isolante em escala laboratorial**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento, Curitiba, 2008.

WILHELM, H. M.; TULIO, L.; UHREN, W. **Produção e uso de óleos vegetais isolantes no setor elétrico**. Engenharia, Curitiba, n. 592, p.120-124, 2009.